Journal of Water and Soil
https://jsw.um.ac.ir

Research Article
Vol. 36, No. 4, Sep.-Oct. 2022 p. 459-475

GIS-Based Land Capability and Suitability Evaluation for Irrigated Agriculture (Case Study: Karaj-Qazvin)

F. Sarmadian[1]*, S. Teymuri Bardiani[2], Sh. Rahmani Syalarz[3], N. Sayadi[4]

Received: 01-05-2022 Revised: 31-05-2022 Accepted: 28-08-2022 Available Online: 21-11-2022	**How to cite this article:** Sarmadian, F., Teymuri Bardiani, S., Rahmani Syalarz, Sh., & Sayadi, N. (2022). GIS-Based Land Capability and Suitability Evaluation for Irrigated Agriculture (Case Study: Karaj-Qazvin). *Journal of Water and Soil 36*(4): 459-475. (In Persian with English abstract) **DOI:** 10.22067/JSW.2022.76330.1159

Introduction

Farmers and agricultural products face many risks, including adverse weather conditions, pests, diseases, and changes in product prices, laws, and regulations. The first step in managing and minimizing many of these risks is often choosing the right crops for the area under cultivation; Therefore, knowing whether these lands are suitable for a particular crop can determine the success or failure of agricultural strategies. Because farmers are exposed to climate change and the economy, where agricultural frameworks are changing at an unprecedented rate, it is vital for them to be able to adapt to new trends. Increasing the availability of land suitability information for agricultural products will be a valuable aid for farmers and managers in this field to develop new agricultural strategies. At the same time, the growth of computational capabilities and increased access to geographic data has made land suitability assessment faster and easier.

Materials and Methods

The study area is located in Abik city, a city located in Qazvin province of Iran, between 50 degrees and 40 minutes to 50 degrees and 41 minutes east longitude and 35 degrees and 52 minutes to 36 degrees and 21 minutes north latitude. The average annual soil temperature at depth of less than 50 cm is 15.8 °C and has thermal heating regime. Furthermore, according to the average rainfall of the region, 222.7 mm, the humidity regime of the region is of Eridic type. Moisture and heat regimes were obtained by Newhall software. According to regional conditions and the size of the area, 60 profiles were drilled for network description and sampling. Field studies including determination, drilling, description of profiles, slope percentage, etc. were determined at the site. Information on soil physical and chemical properties were tested. Parametric, American (USDA) and LSP methods were used to evaluate the land. Necessary climatic characteristics for annual plants include the climatic variables that are necessary to determine the growing season, planting date and type of cultivar. The information of Buin Zahra synoptic station has been used. In this study, CROPWAT software was used to calculate the potential evapotranspiration. Land information such as slope, drainage Condition and flood absorption, as mentioned in the profile description card, was used to assess land suitability. Growth period was also obtained for the region using the area agronomical calendar. To calculate potential of production, the model AEZ which is provided by FAO, is used in this research.

Results and Discussion

The decrease in the suitability of the studied lands for the wheat crop is due to the salinity and sodium content of the lands and the presence of surface gravel and shallow soil depth. According to the provided tables and maps, 18% of the study area is unacceptable, 12.5% is average, 12.5% is good, 25% is very good, or very good and

1- Professor, Soil Science Department, College of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran
(*- Corresponding Author Email: fsarmad@ut.ac.ir)
2- Masters Student, Soil Science Department, College of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran
3- Masters Student, Soil Science Department, College of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran
4- Graduated with a Master's Degree in Soil Science, Soil Science Department, College of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran

31.25% of the total study area are in the excellent fitness class. The above values have been obtained by considering the rangeland and saline sections as well as the type of product in preparing the fit map. The accuracy of the preferred rational scoring method in land suitability is higher than the parametric method because in this method the land suitability maps of the area are obtained by logical collectors and the output map is the result of all parameters and constraints that the area may have. To have the desired. In the parametric method, this problem is summarized in soil properties and climatic conditions. Due to the lack of direct measurement of product performance, more accurate comparisons were not possible.

Conclusion

Most of the restrictions were in shallow hilly areas with shallow soils and pebbles, and salinity, alkalinity and gypsum did not impose any restrictions in these areas. Traffic in these areas was difficult and they were mostly in the S3 class by the parametric method and the poor and unacceptable class in the LSP. In land evaluation using LSP method, understanding the relationships of criteria with each other and the amount of impact that each has on the potential of land for different uses is essential. The LSP method is sensitive yet flexible, and may not work well if the data accuracy and number of parameters are low. The application of GIS-based LSP method showed a suitable tool to create accurate, flexible and rationally justifiable criteria in assessing the capability and suitability of land in agriculture. In such studies, by using the Bayer LSP method, prerequisites such as precisely defining the goals of users, managers and agricultural expertise should be considered. This method is a multi-criteria evaluation method that has been improved for measurement among decision makers, land management and other specialties.

Keywords: FAO, Land suitability and capability, LSP method, Parametric method

نشریه آب و خاک
https://jsw.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۶، شماره ۴، مهر-آبان ۱۴۰۱، ص. ۴۷۵-۴۵۹

مقایسه روش‌های پارامتریک و روش امتیازدهی منطقی ترجیحی (LSP) در ارزیابی قابلیت و تناسب اراضی برای زراعت‌های آبی در منطقه آبیک قزوین

فریدون سرمدیان[1]*- سجاد تیموری بردیانی[2]- شهلا رحمانی سیالرز[3]- نیلوفر صیادی[4]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۰۶

چکیده

کشاورزان و محصولات کشاورزی با خطرات زیادی از جمله آب‌وهوای نامساعد، آفات، بیماری‌ها و تغییر در قیمت محصولات، قوانین و مقررات مواجه هستند. اولین قدم در مدیریت و به‌حداقل‌رساندن بسیاری از این خطرات اغلب انتخاب محصولات مناسب برای مناطق زیر کشت است؛ بنابراین، دانستن اینکه آیا این اراضی برای یک محصول خاص مناسب است یا خیر، می‌تواند موفقیت یا شکست استراتژی‌های کشاورزی را تعیین کند. ارزیابی چندمعیاره (MCE) یکی از روش‌های آنالیز مکانی است که می‌تواند به ارزیابی اراضی کمک کند. هدف از این مطالعه بسط دادن روش‌های استاندارد MCE بر پایه GIS، با استفاده روش امتیازدهی منطقی ترجیحی (LSP) برای ارزیابی اراضی است تا در کنار بررسی معیارهای متعدد برای ارزیابی اراضی و انطباق آنها، از تلفیق خصوصیات شیمیایی و فیزیکی با مسائل اجتماعی و اقتصادی بتوان به یک ارزیابی اراضی کامل‌تر دست‌یافت. در این تحقیق، به دو روش پارامتریک و امتیازدهی منطقی ترجیحی ارزیابی اراضی انجام شد. منطقه موردمطالعه در محدوده کرج- قزوین، شهرستان آبیک قرار گرفته است. در منطقه ۶۰ خاک رخ حفر، نمونه‌برداری شد و آزمایش‌های مربوطه انجام شد. بررسی درجه تناسب اراضی برای کشاورزی به‌طوری‌که علاوه بر خصوصیات خاک و اراضی، مسائل اقتصادی و اجتماعی و زیست‌محیطی هم مطرح باشد، برای این منطقه انجام شد. نقشه‌های تناسب اراضی برای هر دو روش پارامتریک و LSP تهیه شد. روش LSP با استفاده از تعداد بیشتری از پارامترها، ارزیابی دقیق‌تری را ارائه داد و ۳۱/۲۵ درصد از اراضی برای کشت گندم، جو، ذرت دارای تناسب عالی بودند. بر اساس روش پارامتریک برای گندم ۲۸٪، برای جو ۳۶٪ و برای ذرت ۲۰٪ از اراضی برای کشاورزی مناسب بودند.

واژه‌های کلیدی: تناسب و قابلیت اراضی، روش پارامتریک، روش LSP، FAO

مقدمه

کشاورزان و محصولات کشاورزی با خطرات زیادی از جمله آب‌وهوای نامساعد، آفات، بیماری‌ها و تغییر در قیمت محصولات، قوانین و مقررات مواجه هستند (Mulder *et al.*, 2019). اولین قدم در مدیریت و به‌حداقل‌رساندن بسیاری از این خطرات اغلب انتخاب محصولات مناسب برای مناطق زیر کشت است؛ بنابراین، دانستن اینکه آیا این اراضی برای یک محصول خاص مناسب است یا خیر، می‌تواند موفقیت یا شکست استراتژی‌های کشاورزی را تعیین کند.

۱- استاد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: fsarmad@ut.ac.ir)
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
۴- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

DOI: 10.22067/JSW.2022.76330.1159

باتوجه‌به تغییرات اقلیمی و اقتصاد چارچوب‌های کشاورزی با سرعت بی‌سابقه‌ای تغییر می‌کند، برای آنها حیاتی است که بتوانند با روندهای جدید سازگار شوند (Cheshire and Woods, 2013؛ Lennox, 2015). افزایش دردسترس‌بودن اطلاعات تناسب اراضی برای محصولات کشاورزی کمک ارزشمندی به کشاورزان و مدیران این حوزه در جهت ابداع استراتژی‌های جدید کشاورزی می‌کند. درعین‌حال، رشد ابزارهای محاسباتی و افزایش دسترسی به داده‌های جغرافیایی، انجام ارزیابی تناسب اراضی را سریع‌تر و آسان‌تر کرده است (Møller *et al.*, 2021).

سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی[1] امکان بررسی داده‌های مکانی متعدد را فراهم می‌کند (Ahmadi *et al.*, 2021). ادغام سنجش‌ازدور[2]، ابزارها و تکنیک‌های جدید، ایجاد سیستم‌های ترکیبی ارزیابی اراضی بادقت و قابلیت بالا را فراهم می‌سازد (Singha and Swain, 2016). روش امتیازدهی ترجیحی (LSP)[3] فرصت‌های فراوانی را برای کمی‌سازی اهداف انسانی و روابط منطقی با استفاده از معیارهای ارزیابی قابل توضیح و توجیه ارائه می‌دهد (Shen *et al.*, 2021). دقت روش‌های ارزیابی تناسب اراضی بستگی به درجه تأثیر خصوصیات اراضی انتخاب شده مؤثر در تولید محصول دارد (Sarmadian *et al.*, 2009). یکی از مزیت‌های روش تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر تحلیل سلسله‌مراتبی این است که پیوستگی اراضی را در کلاس‌های مختلف به‌صورت پیوسته نشان می‌دهد بعلاوه از مزیت‌های دیگر آن این است که به طبیعت اجازه می‌دهد به صورت ذاتی و مبهم باشد و سعی بر آن ندارد که سیستم پیچیدهٔ خاک را با داده‌هایی که توسط محققین علوم خاک اندازه‌گیری می‌شود محدود نماید. این روش تعداد بیشتری از ورودی‌های معیار را در بر می‌گیرد، طیف کاملی از تصمیم‌گیری‌های انسانی را نشان می‌دهد و نقشه‌های قابلیت و تناسب زمین کشاورزی واقعی را تولید می‌کند و در نتیجه آن را به ابزاری مؤثر برای برنامه‌ریزی یکپارچه کاربری منطقه‌ای تبدیل می‌کند (Montgomery *et al.*, 2017). همچنین این روش با دخیل نمودن عوامل بیشتر در ارزیابی تناسب اراضی برای محصولات مختلف نقش مهمی را در ارزیابی و تناسب اراضی ایفا می‌کند (El Baroudy, 2016).

روش‌های پارامتریک استوری، ریشه دوم و فائو نتایج معقول‌تری نسبت به روش‌های محدودیت ارائه می‌کنند. وسعت کلاس‌های تناسب اراضی برای هر یک از تیپ‌های بهره‌وری موردمطالعه بر اساس روش‌های استوری و ریشه دوم، مؤید این مطلب است (Ahmadi *et al.*, 2021). صرف‌نظر از نوع مدل و محصول موردمطالعه، مقادیر صحت عمومی از سطح کلاس به زیر کلاس تناسب به طور چشمگیری کاهش می‌یابد. اجزای سرزمین و شاخص‌های سنجش‌ازدور شاخص گیاهی عمودی (PVI)[4] و شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI)[5]، مهم‌ترین پارامترهای محیطی برای پیش‌بینی کلاس و زیر کلاس تناسب کیفی و کلاس تناسب کمی اراضی هستند (Mosleh *et al.*, 2017). روش LSP بر پایه GIS در ارائه یک گردش کاری انعطاف‌پذیر و حساس برای ایجاد نتایج واقعی و قابل‌توجیه از معیارهای پیچیده که با اهداف و الزامات ذی‌نفعان محدود می‌شود، مؤثر است (Shen *et al.*, 2021). معیارهای محاسباتی LSP را می‌توان در یک سیستم GIS برای پردازش داده‌هایی که نشان‌دهنده مکان‌های مطالعه واقعی هستند ادغام کرد (Dragićević *et al.*, 2018). مطالعات حاضر نمی‌توانند صحت نقشه مناسب را تأیید کند؛ زیرا تنها از یک رویکرد، یعنی رویکرد محاسبات نرم مبتنی بر GIS استفاده می‌کنند. دو یا چند روش چندمعیاره را می‌توان برای کاهش اثر خطاهای این روش به کاربرد (Lennox, 2015).

امتیازدهی منطق اولویت (LSP) یک روش کلی تصمیم‌گیری چندمعیاره است که ریشه در محاسبات ریاضی و استدلال فازی دارد. این روش تجمیع غیرخطی تعداد زیادی از معیارهای ورودی را بدون کاهش ارزش داده‌ها برای روش‌های MCE مبتنی بر GIS فراهم می‌کند (Hatch *et al.*, 2014). این روش در اوایل دهه ۱۹۷۰ میلادی برای اولین‌بار به‌عنوان یک روش ارزیابی چندمعیاره به‌منظور ارزیابی سیستم‌های کامپیوتری استفاده و مطرح شد (Dujmović, 1979). باتوجه‌به قابلیت‌های این روش محققان آمایش سرزمین از روش LSP برای ارزیابی مناطق شهری و کشاورزی استفاده کردند. به‌عنوان‌مثال مونتگومری در سال ۲۰۱۶ روش LSP را در ارزیابی کشاورزی انجام داد و به این نتیجه رسید که این روش نسبت به ۶ روش ارزیابی چندمعیاره مانند OWA[6] و ... و باتوجه‌به مقادیر AUC[7] و منحنی ROC[8] روش بهتری برای ارزیابی اراضی شهری و کشاورزی است و امکان بررسی همه‌جانبه‌تری را فراهم می‌کند (Montgomery *et al.*, 2016b).

ارزیابی تناسب و قابلیت اراضی را برای ایالت کلرادو امریکا انجام دادند. روش LSP در مقایسه با روش ارزیابی قابلیت USDA که پیش‌تر در ارزیابی منطقه موردنظر به‌کاررفته بود، تناسب منطقه را حدود ۱۰ درصد افزایش داده است (Montgomery and Dragićević, 2016a). شن و همکاران ۲۰۲۱ نتایج نشان می‌دهد که روش GIS.LSP در ارائه یک گردش کاری انعطاف‌پذیر و حساس

1- Geographic Information System (GIS)
2- Remote Sensing (RS)
3- Logic Scoring of Preference (LSP)
4- Perpendicular Vegetation Index (PVI)
5- Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)
6- Ordered Weighted Averaging
7- Area Under the Curve
8- Receiver Operating Characteristic

برای ایجاد نتایج واقعی و قابل‌توجیه از معیارهای پیچیده که با اهداف و الزامات کاربران محدود می‌شود، مؤثر است (Shen *et al*., 2021).

مطالعات انجام شده اصولاً بر پایه خصوصیات فیزیکی، شیمیایی خاک و گیاه بوده؛ اما مسائل اقتصادی و اجتماعی که تأثیر زیادی روی تداوم کشاورزی و تولید محصول مناسب دارند، موردبحث قرار نگرفته است. از طرفی دیگر روش‌های ارزیابی چندمتغیره بر پایه سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی توانایی استفاده از داده‌های بیشتر (به طور مثال بیش از 8 معیار) را ندارند؛ ولی با استفاده از روش LSP می‌توان این نقص را برطرف کرد (Montgomery *et al*., 2015). رویکرد های مبتنی بر MCE[1] برای تجزیه‌وتحلیل تناسب اراضی کشاورزی مناسب هستند و LSP به دلیل داشتن رابط کاربرپسند[2] و انتخاب گسترده گروه‌های تجمیع کننده با موفقیت برای مطالعه موردی ارزیابی تناسب تراکم شهری و ارزیابی تناسب اراضی استفاده و آزمایش شده است (Shen *et al*., 2021).

در این مطالعه هدف، پیاده‌سازی روش LSP مبتنی بر GIS به‌عنوان یک روش بهبودیافته و جدید برای تصمیم‌گیری چندمعیاره به‌منظور ارزیابی بخشی از اراضی شهرستان آبیک واقع در استان قزوین و مقایسه آن با روش پارامتریک (روش ریشه دوم) است. در ادامه به تهیه نقشه‌های تناسب اراضی منطقه موردمطالعه برای هر کاربری مشخص پرداخته و سپس نحوه مدیریت اراضی به شکلی که در عین سودمندی، منابع موجود در اراضی حفظ شده و از نظر زیست‌محیطی تأثیرات سوء نداشته باشد، بررسی شد.

مواد و روش‌ها

محدوده موردمطالعه در شهرستان آبیک یکی از شهرستان‌های استان قزوین بین ۵۰ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۴۱ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۱ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. منطقه موردمطالعه جزء مناطق نیمه‌خشک بوده و دارای رژیم حرارتی ترمیک، رژیم رطوبتی خاک زریک خشک و اریدیک ضعیف و ندرتاً دارای رژیم‌های رطوبتی اکوئیک است. بر اساس نقشه هم‌بارش استان، میانگین بارش سالانه در سطح استان از ۲۱۰ میلی‌متر در بخش های شرقی تا بیش از ۵۵۰ میلی‌متر در ارتفاعات شمال شرقی متغیر است و خطوط هم‌بارش کم‌وبیش موازی خطوط تراز هستند. بر اساس میانگین دمای سالیانه منطقه موردمطالعه ۱۴/۸ درجه سانتی‌گراد (بر اساس داده‌های سازمان آب‌وهوا شناسی کشور) و افزودن یک درجه سانتیگراد به آن، میانگین دمای سالیانه خاک در عمق کمتر از ۵۰ سانتی‌متری ۱۵/۸ درجه سانتی‌گراد بوده و دارای رژیم حرارتی ترمیک بوده است. همچنین باتوجه‌به میانگین بارندگی منطقه ۲۲۲٫۷ میلی‌متر رژیم رطوبتی منطقه از نوع اریدیک است. رژیم‌های رطوبتی و حرارتی توسط نرم‌افزار نیوهال به دست آمد. منطقه موردمطالعه در تراز ارتفاعی ۱۴۱۰ متر از سطح دریا قرار دارد.

مطالعات صحرائی و تجزیه‌های آزمایشگاهی

برای انجام این تحقیق منطقه مطالعاتی واقع در قسمتی از دشت قزوین، شهرستان آبیک، در استان قزوین انتخاب شد و با توجه اینکه قبلاً در این منطقه مطالعات دیگری انجام شده، در محدوده آبیک مساحت حدود ۲۴ هزار هکتار که موردمطالعه قرار نگرفته بود به همین تعداد ۶۰ خاک رخ که باتوجه‌به واحدهای فیزیوگرافی و شرایط موجود در منطقه همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می شود انتخاب شدند. همچنین خاک‌رخ‌ها به روش شبکه‌ای نامنظم انتخاب و حفر شد. مطالعات صحرایی شامل حفر، تشریح خاک‌رخ‌ها، درصد شیب، وضعیت سیل‌گیری، زهکشی، پوشش گیاهی و کاربری اراضی، وضعیت آب زیرزمینی، رنگ و ساختمان خاک، عمق مؤثر خاک، و نمونه‌برداری است.

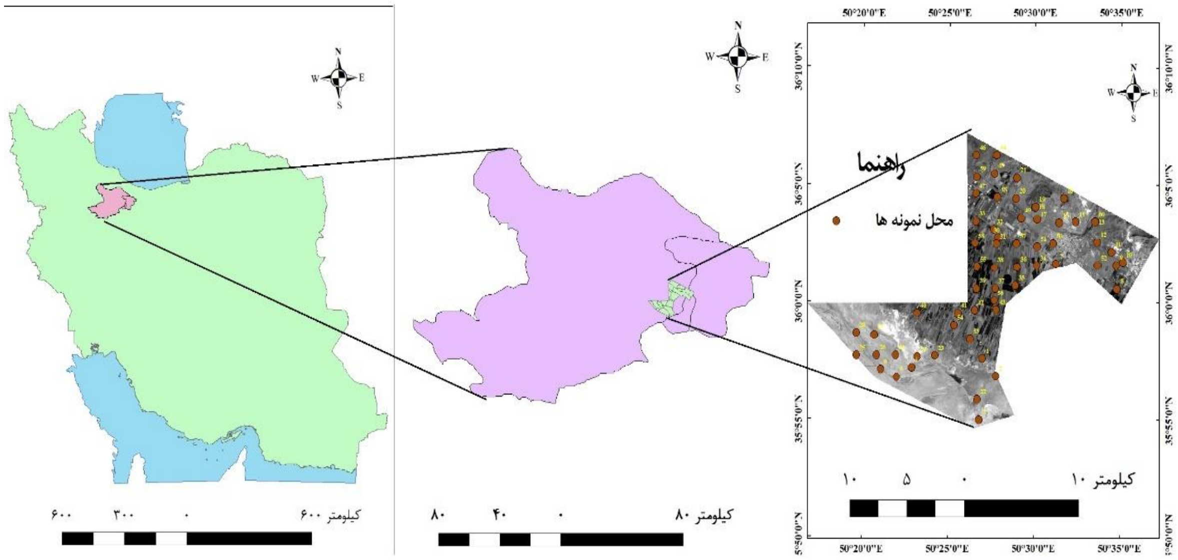
برای انجام مطالعات آزمایشگاهی ابتدا نمونه‌های خاک تهیه شده، هوا خشک گردید و نهایتاً از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شده و ذرات درشت‌تر از ۲ میلی‌متر جداگانه اندازه‌گیری و مورد محاسبه قرار گرفتند. ذرات کوچک‌تر از ۲ میلی‌متر بعد از الک نمودن در ظرف‌های مخصوص جهت انجام آزمایش‌ها نگهداری شدند و سپس آزمایش‌ها فیزیکی و شیمیایی معمول بر روی آنها انجام شد. بافت خاک به روش هیدرومتر، ماده آلی به روش والکلی و بلک و CEC به روش اشباع با استات آمونیوم اندازه‌گیری شد. برای پیش‌بینی ظرفیت تبادل کاتیونی نیاز به استاندارد کردن اعماق خاک است.

مشخصات اقلیم: برای گیاهان یک‌ساله، اطلاعات اقلیمی لازم شامل آن دسته از متغیرهای اقلیمی می‌شوند که جهت تعیین دوره رشد، تاریخ کاشت و نوع رقم ضرورت دارند. در این مورد از اطلاعات (میانگین ۱۶ساله) ایستگاه سینوپتیک بوئین‌زهرا استفاده شده است.

محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل: در این مطالعه از نرم‌افزار CROPWAT 8.0 برای محاسبه میزان تبخیر و تعرق پتانسیل استفاده گردید. همچنین، برای تهیه منحنی طول دوره رشد از اطلاعات بارندگی و تبخیر و تعرق ده روزه استفاده گردید. طول دوره رشد نیز برای منطقه با استفاده از تقویم زراعی منطقه به دست آمد.

برای محاسبه تولید پتانسیل هر محصول (گندم، جو، ذرت) از مدل فائو که در آن بر اساس پتانسیل ژنتیکی محصول و ویژگی‌های گیاهی آن، با استفاده از داده‌های اقلیمی همانند تابش خورشیدی و درجه حرارت، مقدار تولید زیست‌توده[3] محصول برآورد می‌شود.

1- Multi-Criteria Evaluation
2- User friendly interface
3- Biomass Production



شکل ۱- تصویر منطقه مورد مطالعه و الگوی نمونه‌برداری

Figure 1- Image of the study area and sampling points

سیکل رشد هریک از محصولات گندم، جو، ذرت بر اساس تقویم زراعی منطقه به دست آمد. برای محاسبه تولید پتانسیل، از مدل که پهنه‌بندی اکولوژیکی کشاورزی (AEZ)[1] توسط فائو ارائه شده است، در این تحقیق استفاده شده است.

مشخصات خاک و زمین‌نما: بعضی اطلاعات مربوط به اراضی از قبیل شیب، وضعیت زهکشی و محدودیت سیل‌گیری که در کارت تشریح خاک رخ ثبت شد وجود دارند و در ارزیابی تناسب اراضی به‌کارگرفته‌شده. در شرایط خاص سایر اطلاعات را که در کارت تشریح خاک رخ برای هر افق خاک گزارش می‌شود، لازم است برای عمق معینی بر اساس ضرایب وزنی به دست آورد. نظر به اینکه با افزایش عمق خاک، اهمیت خواص خاک برای رشد گیاه کاهش می‌یابد، در محاسبه مذکور، از ضرایب وزنی قسمت‌های مختلف خاک‌رخ استفاده می‌گردد. نقشه مدل رقومی ارتفاع منطقه از سایت (alaska) بادقت ۱۲/۵ متر دریافت شد و با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 10.3 نقشه‌های موردنیاز از آن تهیه گردید.

باتوجه‌به شرایط و مشخصات اراضی موردمطالعه و با درنظرگرفتن نیازهای انواع کاربری، کلاس تناسب اراضی برای آن نوع کاربری تعیین می‌شود. برای مشخص‌کردن کلاس اراضی، روش‌های محدودیت ساده یا حداکثر، روش پارامتریک وجود دارند که در این مطالعه تنها روش پارامتریک (روش ریشه دوم) استفاده شد.

روش ریشه دوم: در این شاخص اراضی بر اساس معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$I = R_{min}\sqrt{\frac{A}{100} \times \frac{B}{100} \times \frac{C}{100} \times \dots} \qquad (۱)$$

که در این روش I: شاخص اراضی، Rmin: حداقل درجه به‌دست‌آمده در بین خصوصیات مختلف اراضی و اقلیمی و حروف A، B، C و ... بیانگر سایر خصوصیات مختلف اراضی و اقلیمی است (Storie and Earl, 1976).

روش امتیازدهی ترجیحی منطقی (LSP)

یک روش ارزیابی چندمعیاره است. این روش سه مرحله اصلی دارد: ۱) تعیین درخت ویژگی‌ها[2]، ۲) تعیین امتیازها[3]، ۳) ساختار تجمعی LSP[4].

درخت ویژگی: بیانگر خصوصیات اراضی و منطقه است که به‌صورت درختی تقسیم‌بندی و تنظیم شده است که تمام ویژگی‌های موردنیاز در ارزیابی را در این ساختار تعیین می‌کنیم. به طور مثال شیب یک پارامتر اجباری در گروه توپوگرافی است، به این دلیل که در صورت شیب زیاد در منطقه، عملیات کشاورزی، تحت‌تأثیر قرار گرفته و مناسب برای کشاورزی نیست؛ در نتیجه تناسب کلی برای این گروه اگر زیرگروه دیگری موجود بود صفر خواهد شد. (Montgomery *et*

1- Agro Ecological Zoning (AEZ)
2- Developing Attribute Tree
3- Definition of attribute criteria
4- LSP aggregation structure

al., 2017). در جدول ۱ تقسیم‌بندی‌های موجود برای هر سطح آورده شده است که علامت (+) در جدول نشان‌دهندهٔ پارامترهای اجباری است و در این تحقیق تمام پارامترها اجباری در نظر گرفته شده است (Hashem and Khiabani, 2015؛ Dragićević and Hatch, 2018).

تعیین امتیاز معیارها: هر ویژگی ورودی به‌صورت جداگانه‌ای با استفاده از حدود معیار برای آن ویژگی ارزیابی می شود. حدود معیار هر ویژگی نشان‌دهنده میزان رضایت‌بخشی یا تناسب ویژگی موردنظر است. برای مثال، دوجموویچ و همکاران، در طی تحقیقی در سال ۲۰۱۶ به این صورت عمل کردند که دما - اولین ویژگی از گروه اقلیم - اگر رشد کامل و رضایت‌بخش گیاه (عملکرد ۱۰۰٪ یا ارزش ۱) را برای دما ۱۹ درجه سانتی‌گراد و دمای بالاتر از ۳۵ درجه هم نامطلوب در نظر بگیریم، درصورتی‌که دما کمتر یا بیشتر از ۱۹ درجه سانتی‌گراد باشد، درجه رضایت‌مندی یا تناسب دما کمتر از بیشترین ارزش یعنی ۱ خواهد شد و نهایتاً از تناسب کل گروه اقلیم هم کم می‌شود. به همین ترتیب، دمای صفر هم رضایت‌مندی یا تناسب صفر خواهد داشت و از آن جا که پارامتری اجباری است تناسب کل گروه اقلیم صفر خواهد شد. در نتیجه در دامنه دمای ۱۹≥ t ≥ ۰ ساده‌ترین راه برای تعریف درجه رضایت‌مندی x تابع خطی زیر است (Montgomery *et al*., 2017):

جدول ۱- تعیین خصوصیات اراضی (درخت ویژگی)

Table 1- Determining land characteristics (feature tree)

۱. قابلیت اراضی **1. Lands Capability**	۲. تناسب اراضی **2. Lands suitability**
۱-۱ توپوگرافی 1-1 Topography ۱-۱-۱ شیب (+) 1-1-1 Slope(+)	۲-۱ اقلیم 1-2 Climate ۲-۱-۱ دما (+) / ۲-۱-۲ تنش آبی (+) 2-1-1 Temperature (+) / 2-1-2 Water stress (+)
۱-۲ خصوصیات خاک 2-1 Soil properties ۱-۲-۱ بافت (+) / ۱-۲-۲ سنگ‌ریزه (+) / ۱-۲-۳ آهک (+) 1-2-1 Texture (+) / 1-2-2 gravel (+) / 1-2-3 lime(+)	۲-۲ اقتصادی 2-2 Economic ۲-۲-۱ قیمت محصول (+) / ۲-۲-۲ عملکرد محصول (+) 2-2-1 Product price (+) / 2-2-2 Product performance (+)
۱-۳ عمق 3-1 Depth ۱-۳-۱ عمق خاک و لایه محدودکننده (+) / ۱-۳-۲ آب در دسترس گیاه (+) 1-3-1 Soil depth and limiting layer (+) / 1-3-2 water available to plants(+)	۲-۳ دسترسی‌ها 3-2 Accessions ۲-۳-۱ دسترسی به جاده‌های اصلی (+) / ۲-۳-۲ دسترسی به جاده‌های فرعی (+) 3-2-1 Access to main roads (+) / 3-2-2 Access to side road (+)
۱-۴ تراکم 4-1 Density ۱-۴-۱ زهکشی (+) / ۱-۴-۲ جرم مخصوص ظاهری (+) ذخیره کردن ترجمه 1-4-1 Drainage (+) / 1-4-2 bulk density (+)	۲-۴ مدیریت 4-2 Management ۲-۴-۱ نوع محصول (+) / ۲-۴-۲ کاربری اراضی (+) 2-4-1 Type of product (+) / 2-4-2 land use (+)
۱-۵ حاصلخیزی خاک 5-1 Soil fertility ۱-۵-۱ OC (+) / ۱-۵-۲ EC (+) / ۱-۵-۳ SAR (+) / ۱-۵-۴ ظرفیت تبادل کاتیونی (+) / ۱-۵-۵ گچ (+) 1-5-1 OC (+) / 1-5-2 EC (+) / 1-5-3 SAR (+) / 1-5-4 CAC (+) / 1-5-5 Gypsum (+)))	۲-۵ قابلیت اراضی 5-2 Capability lands ۲-۵-۱ شیب (+) / ۲-۵-۲ بافت (+) / ۲-۵-۳ سنگ‌ریزه (+) / ۲-۵-۴ آهک (+) / ۲-۵-۵ عمق خاک (+) / ۲-۵-۶ آب در دسترس (+) / ۲-۵-۷ زهکشی (+) / ۲-۵-۸ جرم مخصوص ظاهری (+) / ۲-۵-۹ OC (+) / ۲-۵-۱۰ SAR (+) / ۲-۵-۱۱ EC (+) / ۲-۵-۱۲ ظرفیت تبادل کاتیونی (+) / ۲-۵-۱۳ گچ (+) 2-5-1 slope (+) / 2-5-2 texture (+) / 2-5-3 gravel (+) / 2-5-4 lime (+) / 2-5-5 soil depth (+) / 2-5-6 Available water (+) / 2-5-7 Drainage (+) / 2-5-8 bulk density (+) / 2-5-9 OC (+) / 2-5-10 SAR (+) / 2-5-11 EC (+) / 2-5-12 cation exchange capacity (+) / 2-5-13 gypsum (+)

جدول ۲- معیارهای ارزیابی قابلیت اراضی
Table 2- Land Capability standards

طبقه (Class) / معیار (Criterion)	1	2	3	4	5	وزن Weight (percentage)
شیب Slope (percentage)	<5	5-8	8-15	15-30	>30	30
جهت شیب Slope direction	شمالی Northern	جنوبی South	شرقی Eastern	جنوبی South	-	6
عمق خاک Soil depth (cm)	>75	75-50	50-25	10-25	<10	25
مقدار رس Clay (percentage)	20-30	30-40	0-20	>40	-	20
ماده آلی Organic matter (percentage)	>5	3-5	1-3	<1	-	15
ارتفاع از سطح دریا Height above sea level (meters)	0-2300	2300-2700	2700-3000	>3000	-	4

$$x = t/19 \quad (۲)$$

و اگر دامنهٔ دما بین ۳۵≥ t ≤ ۱۹ باشـــد، درجه رضـــایت‌مندی از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$x= (35-t)/(35-19) \quad (۳)$$

ازاین‌رو، ساده‌ترین حدود معیار برای هر مقداری از بارندگی را می توان به شکل زیر تعریف کرد:

$$x = \max (0, \min (1, t/19)\ 0, \max),\ x \in [0, 1] \quad (۴)$$

تابع امتیاز معیارها برای هر ویژگی ورودی به صورت جداگانه‌ای با استفاده از حدود معیار برای آن ویژگی ارزیابی می‌شود. حدود معیار هر ویژگی نشان‌دهنده میزان رضایت‌بخشی یا تناسب ویژگی موردنظر است (Montgomery *et al.*, 2017،Montgomery *et al.*, 2015). به هر ورودی یک تابع فازی عضـــویت تعلق می‌گیرد که ۰ متعلق به هیچ مجموعهٔ خاصی نیست درحالی‌که عدد ۱ تناسب کامل را نشان می‌دهد. حدود معیار برای قابلیت اراضی توسط توابع تناسب انتخاب شـده اسـت درجات تناسـب در جداول ۲ و ۳، همان حدود معیار اولیه هستند. (Montgomery *et al.*, 2015).

برای ارزیابی تناســب اراضــی، معیارها برای ویژگی‌های اقلیم، اقتصاد، دسترسی‌ها، مدیریت و قابلیت اراضی بیان شده‌اند. این پنج دســـته‌بندی برای نمایش تأثیر عوامل اجتماعی، اقتصـــادی و زیست‌محیطی در ارزیابی اراضی، انتخاب شدند.

ساختار تجمعی LSP

پس از اعمال معیارهای اولیه، به n ویژگی ورودی، درجات تناسب برای این ویژگی‌ها تعیین خواهد شـــد. مرحله بعدی، جمع‌آوری این n ویژگی برای تعیین درجات تناسـب کلی برای پارامتر ارزیابی شـده، با درنظرگرفتن شـــرایط و اهداف موردنظر اســـت. برای اندازه‌گیری و ارزیابی دو ویژگی بهتر اســـت مدلی انتخاب شـــود که دو پارامتر را هم‌زمان بررســی کند یا مدل هم‌زمانی[1] اسـتفاده شـود که این مدل‌ها می‌توانند hard یا soft باشـند. در روش hard، همهٔ ورودی‌ها اجباری هســتند و باید با هم بررســی شــوند و در صــورت صــفر بودن یکی از ورودی‌ها، خروجی بدون درنظرگرفتن ارزش بقیه پارامترها صفر خواهد بود؛ درحالی‌که در همبودی‌نرم[2]، ورودی‌ها اجباری نیستند و صفر بودن یک ورودی الزاماً به صــفر شــدن تناســب نمی‌انجامد و صــرفاً درجه تناســب را کاهش می‌دهد. در برخی زمینه‌ها باید تمام پارامترها در شرایط مطلوبی باشند، در غیر این صورت اراضی برای کاربرد موردنظر عملکرد مطلوب را نخواهد داشـت؛ لذا، از همبودی‌سـخت[3] اسـتفاده می‌شود (Montgomery *et al.*, 2017).

مدل‌های هم‌زمانی دارای ۶ جمع‌کننده[4]بودند که همبودی سـخت را مدل‌ســازی می‌کنند (C-+, CA, C+-, C+, C++, C) که از ضعیف‌ترین تا قوی‌ترین همبستگی مرتب شده‌اند. در این تحقیق از مدل C+ به‌منظور تأثیر بیشـــتر همبودی اســـتفاده شـــده اســـت. (Montgomery *et al.*, 2017) در این روش، جمع‌کننده‌هایی که در شـکل آمده اسـت را تابع GCD[5] که با میانگین توان وزنی[6] اجرا می شود می‌گویند (Montgomery *et al.*, 2016b):

$$GCD(X_1,\ldots,X_n) = (W_1X_1^r + \ldots + W_nX_n^r)^{1/r} \quad (۵)$$

1- Simultaneity
2- Soft Partial Conjunction (SPC)
3- Hard Partial Conjunction (HPC)
4- Aggregator
5- Generalized Conjunction/Disjunction
6- Weighted Power Mean (WPM)

جدول ۳- حدود معیارهای ورودی

Table 3- Limits of Input standards

گروه‌بندی Grouping	معیار یا ویژگی {(مقدار عددی 1، تناسب 1). (مقدار عدد n، تناسب n)} Criterion or attribute { (numeric value 1 , Suitability 1); (value of number n, Suitability of n)}	واحدها و کدها Codes
اقلیم Climate	معیار دما (Temperature criterion)={(0،0)، (1، 19)، (0، 35)} ={(0,0), (1, 19), (0, 35)} تنش آبی(Water stress)={(0،0)، (1، 20)}	◌C Water Capacity Ratio
اقتصادی Economical	قیمت محصول (Product cost)= {(1000،0)، (1،1300)}	Toman
	عملکرد محصول (Crop yeild)={(0، 0)، (1، 9)}	Ton/Ha
دسترسی‌ها Access	جاده اصلی (Main road)= {(0،0)، (1، 100)، (1، 200)، (0، 2000)}	Meters
	جاده فرعی (Side road) = {(0، 25)، (1، 700)، (0، 1000)}	Meters
مدیریت Management	نوع محصول (Product type)= {(0،4)، (1،1)}	Wheat (1), Maize (2), Barely (3), others (4)
	کاربری اراضی (Land use)=(1،0)، (1، 3)	Urban (1), Dry farming (2), irrigated agriculture (3), Range (4), Sailing pasture (5)
قابلیت اراضی Land Capability	(Slop) شیب ={(1،1)، (0، 25)}	%
	(Texture) بافت = {(1 ،5)، (0,0)}	L (5), CL (4), SiCL-SiC (3), C (2), SL (1), LS-S (0)
	(Gravel) سنگ‌ریزه = {(1، 12)، (0، 70)}	%
	(lime) آهک = {(1، 15)، (0، 50)}	%
	(depth) عمق = {(1،90)، (0، 30)}	cm
	(Available water) آب در دسترس = {(1،15)، (0، 7)}	WD-MWD (3), SPD-SWD-SED (2), PD (1), VPD (0)
	(Drainage) زهکشی = {(1،3)، (0,0) }	
	(Bulk density) جرم مخصوص ظاهری = {(0، 1.8)، (1، 1.4)، (1،0)}	g/cm^3
	(Organic carbon) کربن آلی = {(1 ،0.8)، (0،3.0)}	٪
	SAR ={(1،10)، (0، 80)}	((mmol c/l) ^.5)
	EC ={(1،8)، (0، 16)}	(ds/m)
	CEC = {(1, 24)، (0, 5)}	$(cmolc^+/Kg)$
	(Gypsum) گچ = {(1، 3)، (0، 15)}	٪

در اینجا $GCD(X_1,\ldots,X_n)$ نشـان‌دهنده تناسب خروجی برای درجات تناسب ورودی $X_1,\ldots,X_n$ است. وزن‌های نرمال شده $W_1,\ldots, W_n$ ، $0< W_i <1$ ، $i=1,\ldots,n$ ، $\Sigma^n_{i=1}W_i=1$ اهمیت نسبی ورودی‌های $X_1,\ldots,X_n$ را نشـان می‌دهد. پارامتر r برای تنظیم درجه هم‌بودی (هم‌زمانی) و جایگزینی[1] تمام ورودی‌ها استفاده می‌شود. همه ورودی‌ها به همین طریقه در کل سـاختار تجمعی، جمع می‌شـوند تا جایی که یک مقدار خروجی کل به دسـت آید. در ترکیب ورودی‌های اجباری و اختیاری، از تابع CPA[2] استفاده می شود (Dujmovic and Larsen, 2007). تناسـب خروجی S با اجتماع ورودی اجباری X و ورودی اختیاری Y محاسبه می‌شود (Dragićević *et al.*, 2018):

$$S(X,Y) = \{(1-W2)[W1X\ r1 + (1-W1)Yr1]r2/r1 + W2Xr2\}1/r2 \quad (۶)$$

$$r1>0,\ r2<0 \quad (۷)$$

$$Y>0,\ S\ (0,\ Y) = 0 \quad (۸)$$

$$X>0,\ S\ (X,\ 0) >0 \quad (۹)$$

$$a>0,\quad S\ (X,X+a) = X+reward,\quad S\ (X,X-a) = X-penalty \quad (۱۰)$$

وزن‌ها (W1,W2) و توان‌ها (r1,r2) می‌توانند توسـط میانگین امتیـاز منفی مطلوب[3] و میـانگین جبران مطلوب[4] تنظیم شـود (Dujmović, 1979).

به‌طورکلی، هر سـاختار LSP در این مطالعه، ترکیبی از توابع

1- Replaceability
2- Conjunctive Partial Absorption
3- Desired Average Penalty
4- Desired Average Reward

GCD و CPA است تا به طور ریاضی همزمانی، جایگزینی و تجمیع نامتقارن[1] ورودی‌های اجباری و اختیاری نشان دهد. اهمیت معیار هر ورودی در ساختار LSP با وزن‌هایی که در طول عملیات تجمیع[2] استفاده می‌شوند مشخص می‌شود، تأثیر بیشتر پارامترها با مقادیر وزنی بالاتر نشان داده می‌شود.

در این تحقیق اهمیت تمام پارامترها زیاد در نظر گرفته شده؛ لذا فقط از پارامترها اجباری استفاده شده است. مقادیر وزن‌ها در این روش هم از طریق روش‌های سابق ارزیابی تناسب اراضی (AHP)[3] به‌دست‌آمده است. ساده‌تر است وزن‌ها به‌صورت درصد بیان شود، در هر جمع‌کننده وزن‌ها نرمال شده و جمع آن‌ها برابر ۱۰۰٪ است.

در پردازش داده‌های مکانی و اجرای روش LSP از نرم‌افزار GIS استفاده شده است. توابع فازی همراه با محیط رستری GIS[4] با استفاده از ابزار map algebra در ArcMap GIS، برای تعمیم نقشه‌های تناسب و قابلیت اجرا شد.

نتایج و بحث

در این تحقیق، به دلیل تحت آبیاری درنظرگرفتن اراضی کشاورزی موردنظر، بارندگی از محاسبات حذف گردید. همچنین دمای منطقه بر اساس میانگین سالانه داده‌های ایستگاه هواشناسی بوئین‌زهرا (۱۶ سال) ۱۴/۸۵ درجه سانتی‌گراد است. جهت انجام مطالعات ارزیابی تناسب اراضی، ابتدا با استفاده از کارت تشریح خاکرخ‌ها[5]، منطقه مطالعاتی به ۲۹ واحد اراضی بر اساس فامیل[6] جدا سازی شد. همان‌طور که در جدول ۴ بیان شد، خاک‌های منطقه موردمطالعه در سه رده اریدی سول[7]، اینسپتی سول[8] و انتی سول[9] قرار گرفتند که در شکل 2a نشان‌داده شده است. همچنین تصاویر متعلق به ماهواره Landsat 8 در اکتبر ۲۰۲۰ است.

به‌طورکلی ۳۶ درصد از کل اراضی به‌صورت شوره‌زار با سطح آب زیرزمینی بالا، مراتع و کاربری نظامی بوده و کاربری کشاورزی ندارند و در جداول تناسب برای آنها عملکردی لحاظ نشده است. اراضی بر اساس ارزیابی قابلیت اراضی به ۶ کلاس تقسیم شدند که ۲۲/۲ درصد در کلاس I، ۱۶/۷ درصد در کلاس II، ۱۱/۱ درصد در کلاس III، ۲۵ درصد در کلاس IV، ۸/۳ درصد در کلاس V، ۱۳/۸ درصد هم در کلاس VI قرار گرفتند.

در این مطالعه ۴ کلاس باتوجه‌به ساختار مدل فائو، برای تناسب اراضی محصولات در نظر گرفته است که شامل S1 برای اراضی با تناسب بالا، S2 برای اراضی با تناسب متوسط، S3 برای اراضی تناسب کم، N برای اراضی نامناسب است. نتایج این روش برای سه محصول گندم، جو و ذرت در جدول ۴ آمده است.

کاهش تناسب اراضی موردمطالعه برای محصول گندم ناشی از شور و سدیمی بودن اراضی و وجود سنگ‌ریزه سطحی و عمق کم خاک است. این نتایج توسط موسوی و همکاران، سرمدیان و همکاران نیز تأیید شده است (Mousavi *et al*., 2017؛ Sarmadian *et al*., 2003، Sarmadian *et al*., 2009). تعیین تناسب اراضی و پتانسیل تولید گندم در خاک‌های شور دشت سروستان نشان داد که استفاده از روش پارامتریک ریشه دوم مناسب‌تر از سایر روش‌ها بوده است و اختلاف مقدار عملکرد واقعی از مقدار تخمین زده شده حدود ۱۰ درصد است (Tashayo *et al*., 2020). نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق برای محصول جو آبی توسط محققان دیگر نیز این نتایج را تأیید شده است (Hashem Vand Khiabani *et al*., 2015، Sarmadian and Keshavarzi, 2011).

باتوجه‌به معیارها یا امتیازها، نقشه‌های تناسب هر زیرگروه و سپس گروه مربوطه به روش امتیازدهی ترجیحی تهیه شده است. همزمانی از سطح زیر گروه‌ها تا نقشه نهایی در حال افزایش است. برای تهیه نقشه‌های تناسب و قابلیت اراضی از توابع فازی مربوطه در محیط رستری GIS با استفاده از map algebra در GIS ArcMap استفاده شد. در نهایت نقشه به‌دست‌آمده به ترتیب جدول ۶ به ۷ کلاس طبقه‌بندی این طبقه‌بندی توسط مونتگومری و همکاران برای اراضی مشابه در ایالت کلرادو آمریکا پیشنهاد شد:

نتایج حاصل از تناسب اراضی برای واحدهای جدا شده به روش امتیازدهی منطقی ترجیحی به این صورت است:

مطابق جداول و نقشه‌های ارائه شده، ۱۸ درصد از منطقه موردمطالعه تناسب غیرقابل‌قبول یا Unacceptable، ۱۲/۵ درصد دارای تناسب متوسط یا Average، ۱۲/۵ درصد از منطقه دارای تناسب خوب یا Good، ۲۵ درصد از منطقه دارای تناسب خیلی خوب یا Very Good و ۳۱/۲۵ درصد از کل منطقه مطالعاتی در کلاس تناسب عالی یا Excellent قرار دارند. مقادیر فوق، با درنظرگرفتن بخش‌های مرتعی و شوره‌زار و همچنین نوع محصول در تهیه نقشه تناسب به‌دست‌آمده است. بخش‌هایی در شمال و جنوب منطقه دارای کلاس تناسب غیرقابل‌قبول شده‌اند که در مناطق شمالی دارای شیب بیشتر از ۲۰ درصد و مناطق جنوبی دارای شوری زیادی هستند. در قسمت جنوبی منطقه دسترسی به جاده‌ها مشکل بوده و فاصله زیادی از جاده دارند، از طرفی به علت سطح آب زیرزمینی بالا در فصل‌های

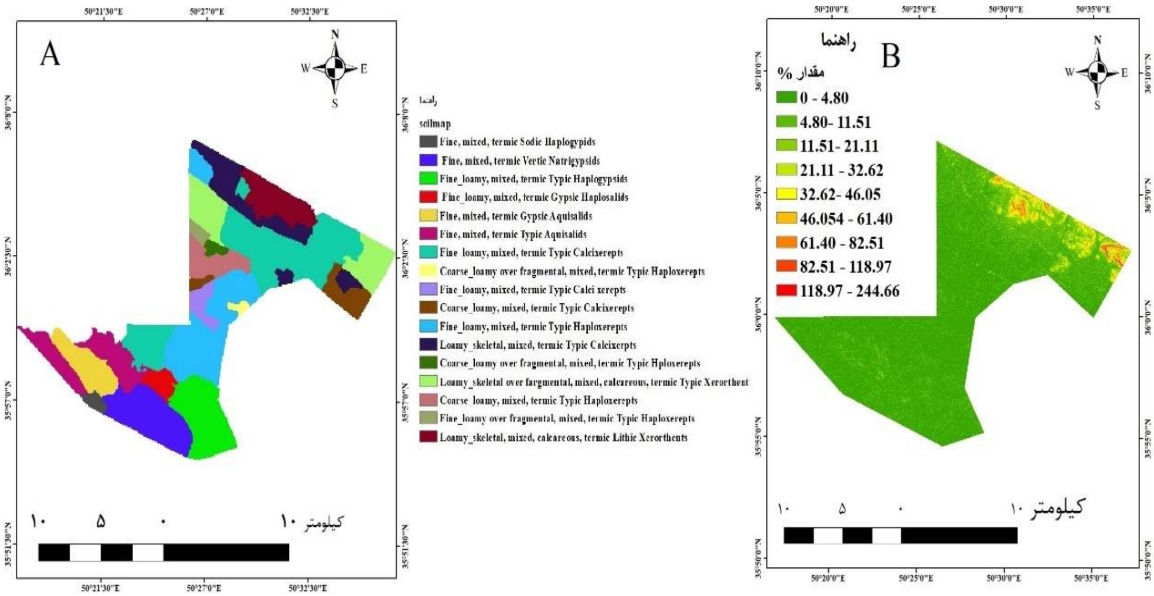
1- Asymmetric Aggregation
2- Aggregation
3- Analytical Hierarchy Process
4- Raster GIS environment
5- Profil
6- Family
7- Aridisols
8- Inceptisols
9- Entisols

پرباران عملاً تردد در این مناطق غیرممکن است؛ همچنین میزان گچ، EC و SAR در این منطقه از اراضی به‌شدت زیاد است. در بخش تپه‌ای و شیب‌دار، عمق خاک کم است، درصد سنگ‌ریزه بالایی دارند و درصد آهک بالایی در بخش‌هایی از این مناطق به‌دست‌آمده است، از طرفی تردد ماشین‌آلات و دسترسی به جاده هم کمی مشکل است؛ ازاین‌رو تناسب کشاورزی در این مناطق به شدت کاهش‌یافته و بیشتر کاربری مرتع برای آنها مشاهده شده است این نتایج توسط موسوی و همکاران (Mousavi *et al*., 2017) تأیید شده است. به‌طورکلی به علت دخالت عوامل اقتصادی و اجتماعی ممکن است تناسب اراضی بعضاً در مواردی کمتر از روش های قبلی به دست آید؛ زیرا محدودیت‌های دیگری به جز خصوصیات خاک را نیز در به‌دست‌آوردن تناسب نهایی در نظر می‌گیرند که جدول ۷ نیز بیانگر این امر است.

جدول ٤- طبقه‌بندی خاک و واحدهای اراضی

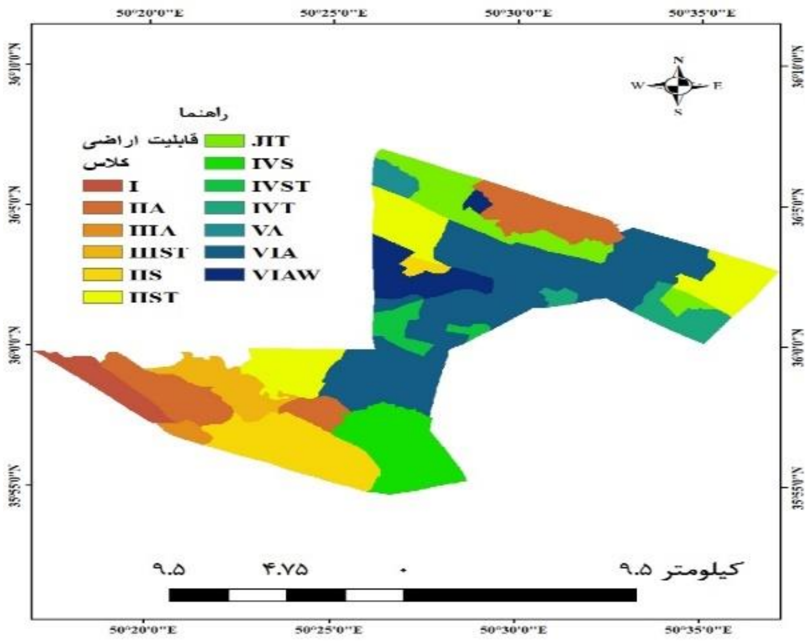
Table 4- Classification of soils and land units

شماره خاک رخ شاهد Witness profile number	رده‌بندی Classification	واحدهای اراضی Land units
6	Fine, mixed, termic Sodic Haplogypsids	1
4	Fine, mixed, termic Vertic Natrigypsids	2
1	Fine loamy, mixed, termic Typic Haploxerepts	3
23	Fine loamy, mixed, termic Gypsic Haplosalids	4
27	Fine, mixed, termic Gypsic Aquisalids	5
24	Fine, mixed, termic Typic Aquisalids	6
25	Fine, mixed, termic Typic Aquisalids	7
40	Fine loamy, mixed, termic Typic Calcixerepts	8
35	Coarse loamy over fragmental, mixed, termic Typic Haploxerepts	9
39	Fine loamy, mixed, termic Typic Calcixerepts	10
55	Coarse loamy, mixed, termic Typic Calcixerepts	11
36	Fine loamy, mixed, termic Typic Haploxerepts	12.1
41	Fine loamy, mixed, termic Typic Haploxerepts	12.2
54	Fine loamy, mixed, termic Typic Haploxerepts	12.3
7	Loamy skeletal, mixed, termic Typic Calcixerepts	13
9	Loamy skeletal, mixed, termic Typic Calcixerepts	14
8	Coarse loamy, mixed, termic Typic Calcixerepts	15.1
52	Coarse loamy, mixed, termic Typic Calcixerepts	15.2
30	Coarse loamy over fragmental, mixed, termic Typic Haploxerepts	16
11	Loamy skeletal over fragmental, mixed, calcareous, termic Typic Xerorthents	17.1
10	Loamy skeletal over fragmental, mixed, calcareous, termic Typic Xerorthents	17.2
31	Coarse loamy, mixed, termic Typic Haploxerepts	18.1
58	Coarse loamy, mixed, termic Typic Haploxerepts	18.2
33	Fine loamy over fargmental, mixed, termic Typic Haploxerepts	19
34	Fine loamy, mixed, termic Typic Calcixerepts	20.1
49	Fine loamy, mixed, termic Typic Calcixerepts	20.2
12	Fine loamy, mixed, termic Typic Calcixerepts	20.3
50	Fine loamy, mixed, termic Typic Calcixerepts	20.4
13	Fine loamy, mixed, termic Typic Calcixerepts	20.5
21	Fine loamy, mixed, termic Typic Calcixerepts	21
48	Loamy skeletal over fragmental, mixed, calcareous, termic Typic Xerorthents	22
16	Loamy skeletal, mixed, calcareous, termic Lithic Xerorthents	23.1
19	Loamy skeletal, mixed, calcareous, termic Lithic Xerorthents	23.2
46	Fine loamy, mixed, termic Typic Haploxerepts	24
45	Loamy skeletal, mixed termic, Typic Calcixerepts	25
60	Fine loamy, mixed, termic Typic Calcixerepts	20.6



شکل ۲- A- طبقه‌بندی شیب منطقه، B- نقشه واحدهای اراضی

Figure 2- A- Slope, B- Land units

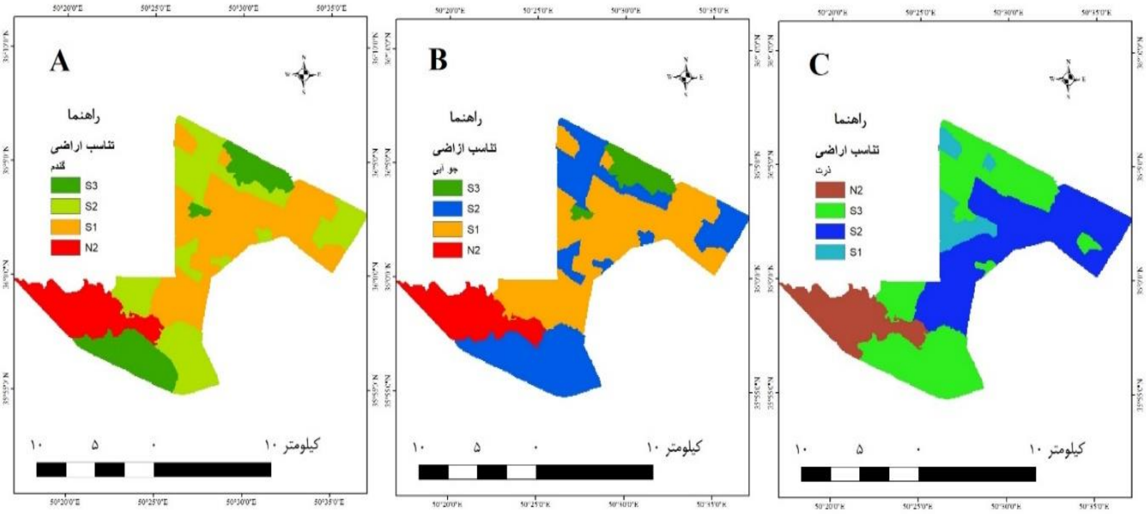


شکل ٤- نقشه ارزیابی قابلیت اراضی برای زراعت آبی

Figure 4- Land Capability Classification for Irrigation Agriculture

جدول ۵- نتایج تناسب ارزیابی اراضی به روش ریشه دوم برای سه محصول گندم، جو و ذرت
Table 5- Results of land suitability assessment by square root method for three crops of wheat, barley and corn

محصول (Product) تناسب اراضی(Land suitability)	جو آبی irrigated Barely	گندم آبی پاییزه Irrigated wheat	ذرت Corn
(تناسب بالا) High suitability	٪36	٪32	٪20
(تناسب متوسط) Medium suitability	٪36	٪36	٪34
(تناسب کم) Low suitability	٪12	٪16	٪36
(نامناسب) Unsuitable	٪16	٪16	٪20

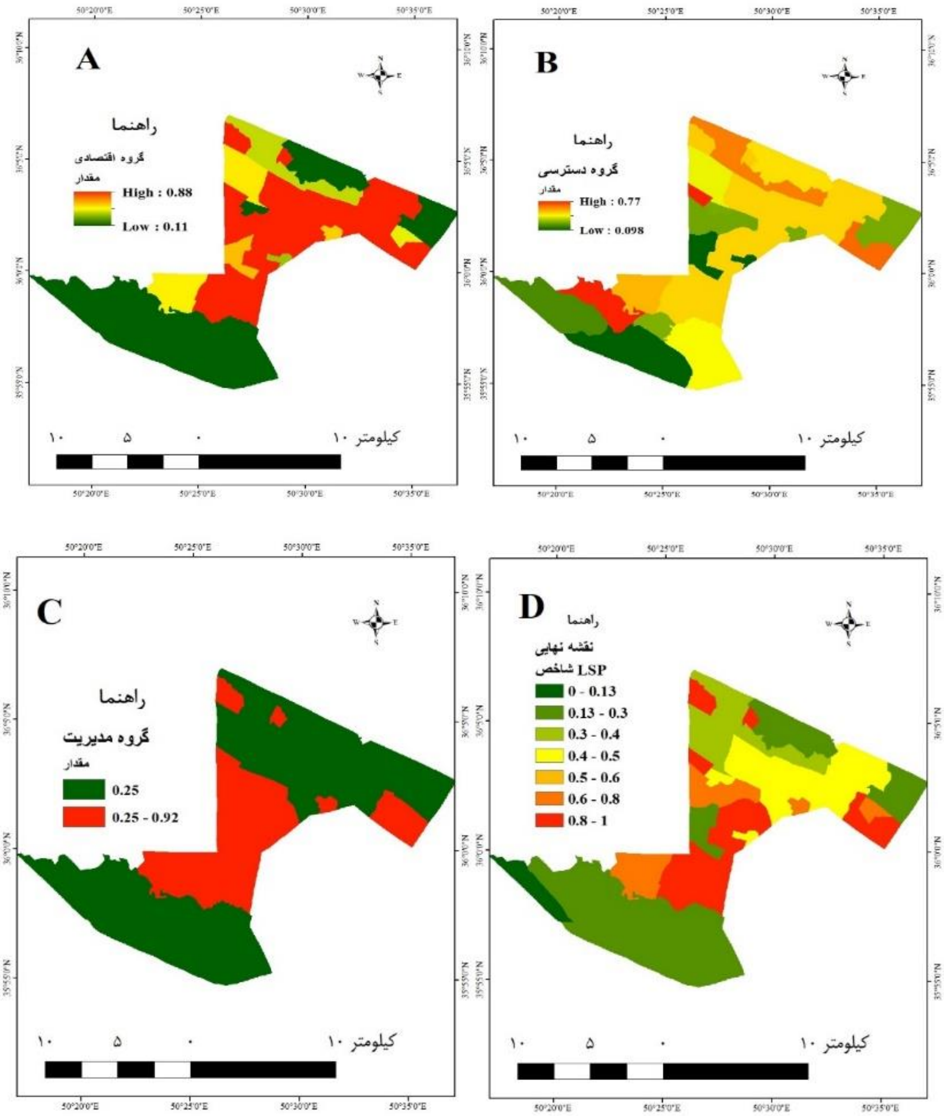


A: گندم B: جو آبی C: ذرت
(A: Wheat, B: Barley, C: Corn)

شکل ۳- نقشه نهایی تناسب اراضی به روش ریشه دوم
Figure 3- Final map of land suitability by square root method

جدول ٦- کلاس‌های تناسب اراضی به روش امتیازدهی ترجیحی (Montgomery *et al*., 2015)
Table 6- Land suitability classes LSP method (Montgomery *et al*., 2015)

کلاس تناسب اراضی Class of land suitability	دامنه تناسب برای اراضی Range of land suitability
تناسب غیرقابل‌قبول (Unacceptable Suitability)	0-0.13
تناسب خیلی ضعیف (Very Poor Suitability)	0.13-0.3
تناسب ضعیف (Poor Suitability)	0.3-0.4
تناسب متوسط (Average Suitability)	0.4-0.5
تناسب خوب (Good Suitability)	0.5-0.6
تناسب خیلی خوب (Very Good Suitability)	0.6-0.8
تناسب عالی (Excellent Suitability)	0.8-1



شکل ۵- A- نقشه تناسب گروه مسائل اقتصادی B- نقشه تناسب گروه دسترسی C- نقشه تناسب گروه مدیریتِ D- نقشه نهایی تناسب منطقه به روش LSP

Figure 5- A- Suitability of economic issues B- Suitability of access group C- Suitability of management group D- Final map of area suitability by LSP method

جدول ۷- مقایسه روش LSP و USDA

Table 7- Comparison of LSP and USDA methods

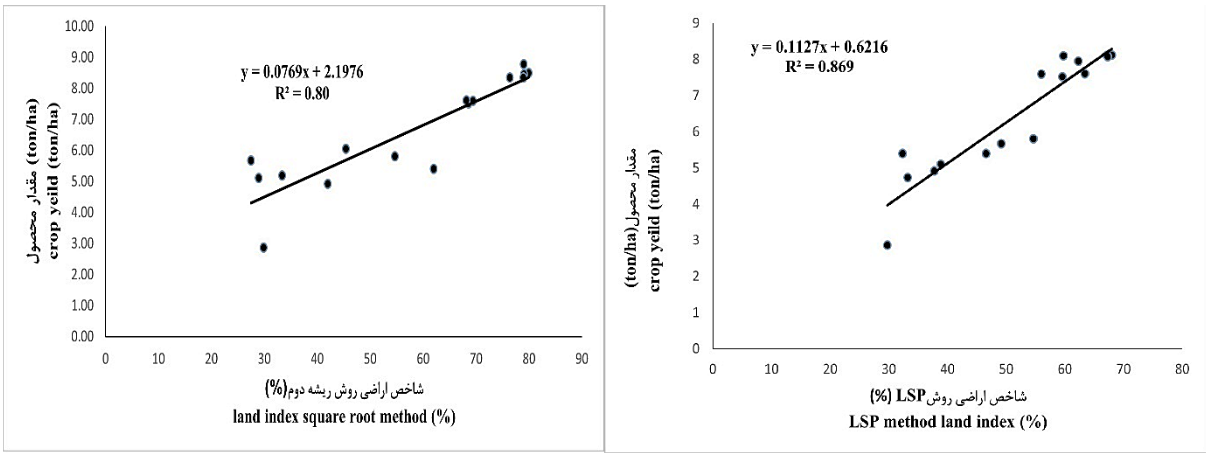
کلاس‌های قابلیت اراضی **Land capability classes**	ارزیابی قابلیت به روش LSP **Capability assessment by LSP method**	کلاس‌های قابلیت اراضی **Land suitability classes for USDA**	ارزیابی قابلیت به روش USDA **Capability assessment by USDA method**
Excellent	52.7	I	22.2
Very Good	11.8	II	16.7
Good	8.3	III	11.1
Average	-	–	–
Poor	8.3	IV	25
Very Poor	-	V	8.3
Unacceptable	19.4	VI	13.8

دقت روش امتیازدهی منطقی ترجیحی در تناسب اراضی از روش پارامتریک بیشتر است؛ زیرا در روش این نقشه‌های تناسب اراضی منطقه توسط جمع‌کننده‌های منطقی به دست می‌آیند و نقشه خروجی نتیجهٔ تمام پارامترها و محدودیت‌هایی است که ممکن است منطقه موردنظر داشته باشد. در روش پارامتریک این مسئله در خصوصیات خاک و شرایط آب‌وهوایی خلاصه می شود. این نتایج توسط لوان و همکاران (Luan *et al.*, 2021) و مونتگومری و همکاران (Montgomery *et al.*, 2015) نیز حاصل شد.

اگر بتوان تناسب S1 با تناسب عالی یا Excellent یکی فرض کرد؛ ۲۸ درصد منطقه مطالعاتی در روش پارامتریک برای محصول گندم، ۳۶ درصد آن برای محصول جو و ۲۰ درصد برای محصول ذرت، در حالت تحت آبیاری دارای تناسب بالا است. همهٔ محصولات فوق در روش امتیازدهی منطقی ترجیحی در ۳۱/۲۵ درصد از کل منطقه موردمطالعه دارای تناسب بالا یا عالی هستند. این مقدار برای ذرت و گندم افزایش داشته؛ ولی برای جو ۵ درصد از اراضی مناسب کاهش‌یافته است. نوع محصول در نقشه گروه مدیریت اعمال شده و نقشه تناسب هر محصول به طور جداگانه تهیه شد. نقشه گروه مدیریت با پهنه‌بندی کلی جمع شده و در تناسب نهایی اثر گذاشت. اراضی با تناسب غیرقابل‌قبول یا N در روش پارامتریک برای گندم، جو، ذرت به ترتیب ۱۶-۱۶-۲۰ درصد به دست آمد. همین تناسب در روش امتیازدهی منطقی ترجیحی برای محصولات مربوطه ۱۸ درصد به دست آمد.

مقایسه مقادیر شاخص تناسب اراضی روش ریشه دوم و ارزش ترجیحی روش LSP با مقادیر واقعی عملکرد محصول ذرت در منطقه مطالعاتی در شکل ۶ نشان‌داده شده است که برای روش ریشه دوم مقدار R^2 برابر ۰/۸ RMSE برابر ۰/۷۷ است، برای روش LSP مقدار R^2 برابر ۰/۸۷ و RMSE برابر ۰/۶۳ است.

فهم و درک روابط معیارها با یکدیگر و مقدار تأثیری که هر معیار بر روی قابلیت اراضی برای کاربری‌های مختلف دارد در روش LSP بهتر تبیین شده است. همچنین روش LSP مبتنی بر GIS ابزاری مناسب برای ایجاد معیارهای دقیق، منعطف و منطقی قابل‌توجیه در ارزیابی قابلیت و تناسب اراضی نسبت به روش‌های قدیمی در حوزه کشاورزی است. روش LSP قادر است تعداد بسیار بیشتری از معیارهای ورودی را نسبت به روش‌های متداول دیگر مانند روش ریشه دوم در بر بگیرد. باید در نظر داشت که انتخاب وزن‌های مختلف می‌تواند تفاوت‌های قابل‌توجهی در نقشه‌های خروجی با روش LSP ایجاد کند. روش LSP حساس و درعین‌حال انعطاف‌پذیر است و درصورتی‌که دقت داده‌ها و تعداد پارامترها کم باشد ممکن است عملکرد خوبی نداشته باشد، این نتایج توسط مونتگومری و همکاران نیز تأیید شده است (Montgomery *et al.*, 2015 ، Montgomery *et al.*, 2017).



شکل ٦- رابطه بین شاخص اراضی محاسبه شده و مقدار عملکرد واقعی

Figure 6- The relationship between the calculated land index and the actual yield value

نتیجه‌گیری

در این پژوهش بر ا ساس چهارچوب تنا سب ارا ضی روش ری شه دوم و روش LSP کلاس تناسب اراضی محصولات آبی (ذرت، گندم، جو) تعیین شد. واحدهای فیزیوگرافی دشت دامنه‌ای و فلات با شیب و ارتفاع کم که عمدتاً دارای هدایت الکتریکی بالای هســتند در کلاس تنا سب بحرانی و واحدهای فیزیوگرافی کوه و تپه با شیب زیاد و عمق کم خاک در کلاس تناســب نامناســب قرار گرفتند. نتایج حاصــل از مقایســه عملکرد و اعتبارســنجی با پارامترهای آماری (R^2, RMSE) محاســبه شــده، دو مدل ریشــه دوم و LSP برای محصــول ذرت در اراضی موردمطالعه نشان داده که نتایج حاصل از روش LSP نسبت به روش ریشه دوم همبستگی بیشتری با مقدار محصول برداشت شده را نشان می‌دهد.

منابع

1. Ahmadi, O., Alamdari, P., Servati, M., & Khoshzaman, T. (2021). Investigate the suitability and capability of lands using parametric methods to achieve sustainable development. *Geography and Development Iranian Journal 18*(61): 1-28.
2. Cheshire, L., & Woods, M. (2013). Globally engaged farmers as transnational actors: Navigating the landscape of agri-food globalization. *Geoforum 2013* 44: 232–242.
3. Dujmović, J7.J. (1979). *Partial absorption function*. Publikacije Elektrotehničkog fakulteta. Serija Matematika i fizika, 156-163.
4. Dujmovic, J.J., & Larsen, H.L. (2007). Generelized conjunction/disjunction. *International Journal of Approximate Reasoning* 46: 423-446.
5. Dujmović, J.J., De Tré, G., & Van de Weghe, N. (2010). LSP suitability maps. *Soft Computing 14*(5): 421-434.
6. Dragićević, S., & Hatch, K. (2018). Urban geosimulations with the Logic Scoring of Preference method for agent-based decision-making. *Habitat International* 72: 3-17.
7. Dragićević, S., Dujmović, J., & Minardi, R. (2018). Modeling urban land-use suitability with soft computing: the GIS-LSP method. In GeoComputational analysis and modeling of regional systems (pp. 257-275). Springer, Cham.
8. El Baroudy, A.A. (2016). Mapping and evaluating land suitability using a GIS-based model. *Catena* 140: 96-104.
9. Hashem Vand Khianani, P., Sarmadian, F., & Afraz, S. (2015). Investigating the suitability of blue corn products using GIS and AHP in Qazvin plain lands. International conference on Modern Research in Agricultural Science and Environment. Malaysia – Kualalumpur.
10. Hatch, K., Dragićević, S., & Dujmović, J. (2014). Logic scoring of preference and spatial multicriteria evaluation for urban residential land use analysis. In International Conference on Geographic Information Science (pp. 64-80). Springer, Cham.
11. Lennox, E. (2015) Double Exposure to Climate Change and Globalization in a Peruvian Highland Community. *Society & Natural Resources* 28: 781–796.
12. Luan, C., Liu, R., & Peng, S. (2021). Land-use suitability assessment for urban development using a GIS-based soft computing approach: A case study of Ili Valley, China. *Ecological Indicators* 123: 107333. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107333.
13. Møller, A.B., Mulder, V.L., Heuvelink, G., Jacobsen, N.M., & Greve, M.H. (2021). Can we use machine learning for agricultural land suitability assessment?. *Agronomy 11*(4): 703.
14. Montgomery, B., Dragićević, S., & Dujmović, J. (2015). A soft computing logic method for agricultural land suitability evaluation. In Proceedings of GeoComputation 2015 Conference. Dallas, USA (pp. 298-304).
15. Montgomery, B., & Dragićević, S. (2016 a). Comparison of GIS‐based Logic Scoring of preference and multicriteria evaluation methods: urban land use suitability. *Geographical Analysis 48*(4): 427-447.
16. Montgomery, B., Dragićević, S., Dujmović, J., & Schmidt, M. (2016 b). A GIS-based Logic Scoring of Preference method for evaluation of land capability and suitability for agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture* 124: 340-353.
17. Montgomery, B., Dragićević, S., & Dujmović, J. (2017). Using soft computing logic and the logic scoring of preference method for agricultural land suitability evaluation. In Advances in Geocomputation (pp. 217-227). Springer, Cham.
18. Mosleh, Z., Salehi, M.H., Jafari, A., Mehnatkesh, A., & Esfandiarpoor Borujeni, I. (2017). Assessing the performance of digital mapping approaches for the qualitative land suitability evaluation (a case study: Shahrekord Plain, ChaharmahalVa-Bakhtiari Province). *Journal of Water and Soil 32*(1): 87-99. (In Persian with English abstract)
19. Mousavi, S.R., Sarmadian, F., & Taati, A. (2017). Land suitability evaluation for irrigation alfalfa in some Qazvin plain with FAO method and Geographic Information System. 15th Iranian Soil Science Congress, Isfahan, https: //

civilica.com/doc/729488
20. Mulder, V.L., van Eck, C.M., Friedlingstein, P., Arrouays, D., & Regnier, P. (2019). Controlling factors for land productivity under extreme climatic events in continental Europe and the Mediterranean Basin. *Catena* 182: 104124. https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104124.
21. Sarmadian, F., Moravvej, K., Mahmoodi, SH., & Ebrahimi-khomami, S.M.R. 2003. An investigation of land suitability evaluation for irrigated crop, using remote sensing and geographical information system techniques in parts of Varamin Plain. *Iranian, Joalur Agriculture Science 34*(4). (In Persian with English abstract)
22. Sarmadian, F., Keshavarz A., & Asgari, M.S. (2009). *Land suitability assessment for irrigated wheat in Takestan region using fuzzy set theory*, 11th Iranian Soil Science Congress, Gorgan. (In Persian)
23. Sarmadian, F., & Keshavarzi, A. (2011). Investigating the efficiency of fuzzy set theory in assessing land Suitability for irrigated wheat in Qazvin Province using hierarchical analysis and multivariate regression Process Methods. *Iranian Journal of Soil and Water Research 42(*2): 199-207. (In Persian)
24. Shen, S., Dragićević, S., & Dujmović, J. (2021). GIS. LSP: A soft computing logic method and tool for geospatial suitability analysis. *Transactions in GIS 25*(3): 1228-1248. https://doi.org/10.1111/tgis.12768.
25. Singha, C., & Swain, K.C. (2016). Land suitability evaluation criteria for agricultural crop selection: A review. *Agriculture Revolution* 37: 125–132.
26. Storie Earl, R. (1976). *Storie index rating*. Division of agriculture science university of Callifornia special pub. 3203.
27. Tashayo, B., Honarbakhsh, A., Azma, A., & Akbari, M. (2020). Combined fuzzy AHP–GIS for agricultural land suitability modeling for a watershed in southern Iran. *Environmental Management 66*(3): 364-376.